

干熄焦蒸汽系统与烧结区域蒸汽供给优化及管道改造方案研究

张 瑶

(南京梅山工程技术新产业开发有限公司, 江苏 南京 210000)

摘 要 本研究从干熄焦蒸汽系统的工作原理与烧结区域蒸汽供给现状出发, 分析了现有蒸汽供给系统存在的问题, 并提出了优化方案。基于热力学模型对蒸汽系统进行优化, 并结合智能化控制技术, 提升了系统的运行效率和稳定性; 根据现有管道系统的结构与性能, 提出了合理的管道材料、布局与施工方案的改造策略。结果表明, 优化后的蒸汽系统在节能降耗和提高供给稳定性方面取得了效果, 验证了管道改造方案在增强系统可靠性和减少维修成本方面的有效性。

关键词 蒸汽系统优化; 管道改造; 热力学模型; 智能化控制

中图分类号: TQ522.16; TK223.7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.08.018

0 引言

钢铁行业作为能源消耗密集型行业, 蒸汽供给系统的优化可以提升能源利用效率, 减少环境污染。在钢铁生产过程中, 干熄焦蒸汽系统和烧结区域的蒸汽供给直接影响生产过程的稳定性和节能效果。现有的蒸汽供给系统面临着蒸汽供应不稳定、能源消耗高、管道老化等多个问题, 这些问题导致能源浪费的同时还增加了生产成本和维护难度。现有的管道系统在结构设计、材料选择以及布局方面未能充分考虑到系统的高效运行需求, 造成蒸汽流量和压力的波动, 影响下游设备的正常工作。随着节能减排政策的不断加强, 钢铁企业亟需进行系统性改造, 提升蒸汽供给系统的性能和可靠性。

1 干熄焦蒸汽系统的工作原理与结构

干熄焦蒸汽系统的主要作用是用于干熄焦过程回收焦炭燃烧过程中释放的热量转化为蒸汽以供生产使用, 该系统通常由熄焦炉、蒸汽发生器、热交换器、蒸汽管道等组成。熄焦炉内焦炭在无氧环境下被冷却释放出大量热能, 部分热能被用于加热水产生蒸汽。蒸汽发生器的作用是将高温废气与水热交换产生蒸汽。热交换器用炉气与冷却水的热交换进一步提升蒸汽的热能。该系统采用的结构设计旨在实现能源回收的最大化, 保障蒸汽在钢铁生产中的应用, 在加热和干燥等工艺中能够高效供应^[1]。

2 干熄焦蒸汽系统与烧结区域蒸汽供给现状分析

2.1 烧结区域蒸汽供给的现状与问题

烧结主要用于将铁矿石颗粒用高温和蒸汽加热过程转化为坚固的烧结矿, 烧结区域的蒸汽需求量且

供给稳定性要求高, 现有的蒸汽供给系统存在一定的不足, 导致系统运行效率低, 能源消耗过大且供给不够稳定。系统中蒸汽流量的波动往往受到外部环境变化、管道老化等因素的影响导致蒸汽压力不稳定, 直接影响了烧结炉的正常运行。烧结区设备的高负荷运行及其复杂的热交换环境加剧了蒸汽系统的负担, 部分区域出现蒸汽短缺或过量供给的现象。

2.2 现有管道系统的结构与性能分析

现有的蒸汽管道系统通常由多个支路、主管道、阀门及附件组成, 负责将蒸汽从生成装置输送至各个生产环节, 由于长期的高温、高压运行, 管道内壁容易产生腐蚀, 导致管道内部流体流动性下降, 增加了输送过程中的热损失和压力损耗。现有的管道系统结构管道过度弯曲、支撑结构不合理, 管道接头处的密封不严密等问题都加大了蒸汽系统的维护难度, 并降低了系统的整体性能。当前管道系统的隔热效果较差, 无法有效减少蒸汽在输送过程中的热量流失, 造成了能量的浪费。管道的老化、磨损和焊接质量也影响了蒸汽的稳定供给和系统的安全性, 部分管道系统未能考虑到温度变化的补偿设计, 导致管道变形或开裂, 进一步加剧了蒸汽系统的不稳定性。

3 蒸汽供给优化方案设计

3.1 优化目标与约束条件

当前干熄焦蒸汽系统与烧结区域蒸汽供给系统在蒸汽供应不稳定、能源利用效率低、蒸汽压力波动大、管道老化严重等问题。优化目标主要包括: 一是提高蒸汽系统的热效率, 减少能源浪费, 针对现有蒸汽供

应过程中热损失较大的问题,优化热量回收与利用机制;二是降低蒸汽供给系统的压力波动,解决烧结工艺过程中蒸汽供给不稳定导致的生产效率下降问题,提高蒸汽供给的均衡性和可靠性;三是优化蒸汽管道布局,减少蒸汽输送过程中的热损失,特别是改善现有管道系统结构不合理、管道弯曲过多导致蒸汽流动阻力增加的问题;四是合理配置蒸汽生成与回收设备,提升能源回收效率,提升蒸汽回收利用率,减少蒸汽过剩排放带来的能源浪费。优化过程中还需满足一定约束条件,如系统运行压力与温度需符合设备设计要求,避免压力波动影响生产稳定性;蒸汽供给量要满足烧结工艺需求,避免因供给不足影响烧结矿质量或因过量供给造成能源浪费;优化方案需兼容现有设备,避免因大规模改造增加投资成本;需符合环保标准,减少能源消耗和排放,降低碳排放强度^[2]。

3.2 基于热力学模型的蒸汽系统优化

基于热力学模型的蒸汽系统优化是分析蒸汽在热交换过程中的能量变化,提出最优的蒸汽生成与输送方案。热力学模型可以帮助准确计算蒸汽系统中的热损失、能量流动及其优化方向,在设计过程中对关键参数进行优化。常用的热力学模型包括卡诺循环模型、朗肯循环模型等,在蒸汽系统优化过程中,可以采用以下热力学公式来分析蒸汽的热能变化:

$$\eta = \frac{W}{Q_m} = 1 - \frac{T_{out}}{T_m}$$

其中, η 为热效率; W 为系统做的功; Q_m 为系统输入的热量; T_m 与 T_{out} 分别为系统输入与输出的温度。基于此公式,优化蒸汽发生器和热交换器的热交换效率,使蒸汽系统的热能利用率达到最优。针对管道隔热性能较差、热损失大的问题,在模型计算中加入管道保温系数和能量损耗参数,优化保温层设计和管道结构布局,降低蒸汽输送过程中的热损失,提高整体热效率。此外,结合热量回收技术,在烧结区域增加余热回收装置,使排放的高温蒸汽可二次利用,减少能源浪费。

3.3 蒸汽供给系统的智能化控制

蒸汽供给系统的优化不仅涉及热效率提升和压力稳定性控制,还需要智能化控制与管道系统改造的协同优化,以提升整体运行效率和稳定性。现有蒸汽供给系统存在响应速度慢、负荷匹配不精准的问题,导致蒸汽供应波动大、能量浪费严重。智能化控制系统可通过实时数据采集、负荷预测分析和自动优化调节实现精准控制。利用传感器监测蒸汽流量、压力和温度,

并基于大数据分析预测负荷变化趋势,使系统能够自适应调节蒸汽供应,结合模糊控制和PID控制技术,通过反馈调节蒸汽发生设备功率、回收系统启停及阀门开关状态,使系统在多变工况下维持最佳运行状态。

4 管道改造方案研究

4.1 管道改造的目标与原则

管道改造的核心目标是提高蒸汽供给系统的整体效率,降低能量损耗,减少维护成本,并保障系统的长期稳定运行。改造的第一步是解决现有管道系统中管道老化、腐蚀、结构设计不合理等问题,这些问题直接导致了蒸汽的浪费、压力波动及系统的不稳定运行。合理的改造可以提升系统的热效率,优化蒸汽流量和压力的分配,减少输送过程中的热损失,提高能源的使用效率^[3]。

管道改造设计应考虑现有设备与管道系统的兼容性,在现有基础上进行优化,保证不进行大规模的设备替换。管道改造方案应具备可行性与经济性,在提高性能的同时要兼顾成本控制,避免过高的投资。管道改造方案必须符合环保和安全要求,保障改造后的管道系统能够减少蒸汽泄漏及污染排放,同时提升系统的安全性。

4.2 管道材料与结构优化

传统的蒸汽管道通常采用碳钢或不锈钢材料,这些材料在承受高温高压蒸汽时表现出较好的强度和耐腐蚀性,但随着使用时间的增加,管道表面容易出现腐蚀、磨损及氧化现象,导致蒸汽泄漏、能量浪费及安全隐患。在管道材料的选择上,应重点考虑耐高温、耐腐蚀的复合材料或耐高压的合金钢材料,有效减少腐蚀现象,延长管道的使用寿命,降低维修频次。高温蒸汽系统可以选用具有良好热导性和较低热膨胀系数的材料,以保障管道在长期运行中维持稳定的热传导性能。复合材料的应用能够提升管道的耐腐蚀性,还能提高其承受压力的能力,提升整个系统的稳定性和安全性。

优化管道结构时应采用流线型设计,减少不必要的弯头和接头,避免蒸汽流动中的压力损失。管道的支撑设计使用适当的支架、托架和弹性支撑等支撑方式,来分散管道的重量,减少管道因长期受压而发生变形或断裂。

4.3 管道布局与施工方案设计

优化管道布局应根据蒸汽的使用需求以及各个区域的蒸汽消耗量和压力需求,合理确定各主干管道与支路管道的位置,避免管道之间的交叉重叠,减少不

必要的管道长度和弯曲。设计时应优先考虑主干管道的布局,使其尽量直线化,以减少蒸汽在管道中的流动阻力,提高热效能。对于需要进行热交换的区域,应特别设计专用的高效热交换管道,并配置合理的隔热措施,避免热量流失^[4]。施工方案设计方面要尽量采用分阶段、逐步替换的方式进行施工,改造施工应遵循严格的质量控制标准,保障每个管道连接部位的密封性与耐压性,避免因施工不当导致的泄漏。

5 实验与结果分析

5.1 实验设备与方法

实验设备包括高温高压蒸汽发生器、流量计、压力传感器、温度传感器、热交换器及数据采集系统等。在实验方法上,先对原有蒸汽系统进行基准测试,测量原系统的蒸汽流量、压力、温度以及热损失情况,然后在现有系统基础上,按照优化方案进行改造,安装优化后的管道系统和智能化控制设备。在实验过程中,实时监测并记录改造后的系统在不同负荷下蒸汽压力的稳定性、流量波动范围、热效率以及管道内热损失的性能变化,所有数据均用数据采集系统自动记录,保障实验结果的精准性和可重复性^[5]。

5.2 优化前后蒸汽系统性能对比

系统优化前与优化后蒸汽系统的主要性能指标对比如表 1 所示。

表 1 优化前后蒸汽系统性能对比

性能指标	优化前	优化后
蒸汽流量 (m^3/h)	1 500	1 600
蒸汽压力波动 (MPa)	0.4 ~ 0.6	0.45 ~ 0.55
热效率 (%)	78.5	82.7
能量损失 (kJ)	1 200	800

5.3 管道改造效果的验证与评估

在管道改造方面,改造前后管道的性能差异也得到了验证,优化前后管道系统的主要性能指标如表 2 所示。

表 2 管道改造效果的验证与评估

性能指标	优化前	优化后
管道热损失 (kJ)	900	500
管道压力损失 (Pa)	5 000	3 000
年维修频次 (次)	8	4

5.4 实验数据的统计分析与结论

优化前后各项性能指标的变化表明,蒸汽系统和管道改造的优化方案在提升效率、降低能耗、减少维

护成本方面具有显著优势。优化后的蒸汽系统提高了热效率,改善了蒸汽供给的稳定性和系统的整体运行效率。管道改造后,热损失和压力损失得到了有效控制,管道系统的可靠性和稳定性也有了显著提升。综合实验结果,优化方案在实际应用中取得了预期的效果,在提升了蒸汽系统能源效率的同时,还降低了系统的运行成本。管道改造效果也表明,合理的材料选择、结构优化和管道布局改造,能够显著提高蒸汽输送系统的性能,保障其长期稳定运行。

6 结束语

优化后的干熄焦蒸汽系统和烧结区域蒸汽供给系统提高了能源利用效率和系统稳定性。系统优化后,蒸汽流量、热效率和压力稳定性均有所提升。在蒸汽传输过程中,能量损失显著降低。管道改造方案有效减少了热损失和压力损失,提高了蒸汽的传输效率,降低了年度维修频次,降低了系统运行成本,提升了管道系统的可靠性和稳定性。热力学模型和智能化控制系统的应用使蒸汽供给系统能够在多变的工况条件下实现高效运行,保障了系统的长周期稳定性。优化方案和改造措施的实施满足了钢铁行业对于节能降耗和稳定供给的需求,为管道系统改造提供了可靠的技术路径,有效推动了钢铁生产的可持续发展。

参考文献:

- [1] 龚宇,王胜利,孙金菊,等.微型多级压缩机充气系统的热力学模型及规律探究[J/OL].化工学报,1-19[2025-02-28].https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=fNwONIWGMRKx2pwGuFcNzoTZ8mvB0XxO9vUuHBaEgkqUzgoFf_OvJ6qjFw_tn1_g-GVRrSRgxwbxeGqhj4dQHe-BdXc5TO1_s1Ybcm8-HugwJt4DpsLmKDPZuQXz2m5L6JkugEM6s_5ZP2ItnqI6MebKIWec8t-EKKiA-irfyn0-YJkDCGzKNaMkkAIcZMmh&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [2] 张海龙,李鹏,郭文浩,等.大型煤化工蒸汽母管压力控制系统改造与优化[J].粘接,2025,52(02):125-128.
- [3] 马吉,余煥伟,胡益靖.全自动蒸汽锅炉缺水保护系统试验研究[J].设备管理与维修,2024(23):150-152.
- [4] 余璩,张涛.基于氧化和烧结的涡轮导向叶片热障涂层区域失效分析[J].中国陶瓷,2024,60(08):30-38.
- [5] 何礼礼,周吉嘉,马成柱,等.烧结区域电气设备维护中的安全风险评估与控制策略[J].冶金管理,2024(01):83-85.